

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Návrh zproduktivnění hlubokého vrtání

Rationalization Proposal of Deep Drilling

Student:	Jan Hajzler
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Hajzler

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh zproduktivnění hlubokého vrtání
Rationalization Proposal of Deep Drilling

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Technologie hlubokého vrtání.
3. Návrh produktivní technologie pro vybrané součásti.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [5] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie - část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 17. 5. 2011

Hejbl Jan
.....
podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17. 5. 2011


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Hajzler

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Horní Čermná č. p. 120
561 56

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HAJZLER, J. *Návrh zproduktivnění hlubokého vrtání*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá vrtáním hlubokých otvorů. Byla realizována ve firmě Rieter Automotive CZ s.r.o. Řeší problematiku vrtání chladících děr pro tvářecí nástroj. V úvodní části práce je popsána technologie a princip vrtání. Hlavní část se zaměřuje na zhotovení vzorků, zdokumentování výsledků a na následné porovnání dvou typů dělových vrtáků na vzorcích tvářecího nástroje. Závěrem práce je zjištění, že při použití dělových vrtáků s VBD dosáhneme kratších výrobních časů a tedy i nižších výrobních cen.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HAJZLER, J. Rationalization Proposal of Deep Drilling: *Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2011, p. Thesis head: Vrba, V.

The bachelor thesis occupy by deep drilling. It was realized in the Company Rieter Automotive CZ s.r.o. This paper considers of problems in a drilling a refractory holes for the former. In the introduction part is described the technology and principle of a drilling. The main part of the thesis is focused on constructing samples and interpretation results and comparison gun drills on the samples of the former. This comparison was detected that a gun drills with index able inserts gains high production together with a lower production price.

Obsah bakalářské práce:

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
0 Úvod	10
1 Obecná charakteristika daného problému	11
1.1 Představení společnosti Rieter Automotive CZ s.r.o.	12
2 Technologie vrtání	14
2.1 Charakteristika technologie vrtání	14
2.2 Řezná rychlost při vrtání	15
2.3 Průřez třísky při vrtání	16
2.4 Síla řezání a její složky	18
2.5 Strojní čas	20
2.6 Rozdělení nástrojů na otvory:	21
2.6.1 Nástroje pro vrtání krátkých děr	21
2.6.2 Nástroje pro vrtání hlubokých děr	25
2.6.3 Vrtání „na jádro“	29
2.6.4 Speciální vrtání	29
3 Návrh zproduktivnění hlubokého vrtání	30
3.1 Použité nástroje	30
3.2 Stroj	31
3.3 Materiál vzorku tvářecího nástroje	32
3.4 Zhotovení vzorků	33
3.5 Návrh nové technologie	34
4 Diskuse experimentů	36
4.1 Technologický postup	36
4.2 Vrtání dělovým vrtákem typ 110	37
4.3 Vrtání dělovým vrtákem typ 01	38
5 Technicko-ekonomické zhodnocení	40
6 Závěr	41
7 Seznam použité literatury:	42

8 Seznam příloh.....	44
----------------------	----

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka:	Jednotka:	Popis:
CAD	[-]	Computer Aided Design - počítačem podporovaný návrh
CNC	[-]	Computer Numeric Control/počítačem řízené stroje
RO	[-]	Rychlořezná ocel
SK	[-]	Slinuté karbidy
VBD	[-]	Výměnné břitové destičky
A_D	$[\text{mm}^2]$	Průřez třísky
a_p	$[\text{mm}]$	Šířka záběru ostří šroubovitého vrtáku
b_D	$[\text{mm}]$	Jmenovitá šířka třísky
C_{Ff}, C_{Fc}	[-]	Konstanty vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu
D	$[\text{mm}]$	Průměr vrtáku
d	$[\text{mm}]$	Průměr předvrtané díry
F_c	$[\text{N}]$	Řezná složka síly vrtání
F_f	$[\text{N}]$	Posuvová složka síly vrtání
F_p	$[\text{N}]$	Pasivní složka síly vrtání
f	$[\text{mm}]$	Posuv za otáčku
f_z	$[\text{mm}]$	Posuv na zub
h	$[\text{mm}]$	Jmenovitá tloušťka třísky
h_D	$[\text{mm}]$	Jmenovitá tloušťka třísky
l	$[\text{mm}]$	Délka vrtaného otvoru
l_b	$[\text{m}]$	Trvanlivost po přebroušení
l_c	$[\text{mm}]$	Celková délka vrtaných děr
l_n	$[\text{mm}]$	Náběh vrtáku
l_p	$[\text{mm}]$	Přeběh vrtáku
l_1	$[\text{m}]$	Životnost dělového vrtáku s pájeným břitem – typ 110
l_2	$[\text{m}]$	Trvanlivost destičky
M_k	$[\text{Nmm}]$	Krouticí moment
N_1	$[\text{Kč/h}]$	Hodinová sazba stroje WHN 13 CNC
N_2	$[\text{Kč}]$	Průměrná cena dělového vrtáku – typ 110
N_3	$[\text{Kč}]$	Cena řezné destičky
N_{c1}	$[\text{Kč}]$	Cena za vrtání dělovým vrtákem - typ 110 (pro experiment)
N_{c2}	$[\text{Kč}]$	Cena za vrtání dělovým vrtákem - typ 01 (pro experiment)
N_{v1}	$[\text{Kč}]$	Náklady na vrtáky

N_{v2}	[Kč]	Náklady na destičky
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky
p	[bar]	Tlak
P_c	[kW]	Řezný výkon
P_{fe}	[-]	Pracovní boční rovina
t_{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas při vrtání průchozí díry
t_{c1}	[h]	Celkový čas vrtání – dělový vrták typ 110
t_{c2}	[h]	Celkový čas vrtání – dělový vrták typ 01
v_c	$[\text{m}/\text{min}]$	Řezná rychlost
v_e	$[\text{m}/\text{min}]$	Rychlost řezného pohybu
v_f	$[\text{mm}/\text{min}]$	Posuvová rychlost
x_1	[-]	Průměrný počet přebroušení
X_{Ff}, X_{Fc}	[-]	Exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku
Y_{Ff}, Y_{Fc}	[-]	Exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku
z	[-]	Počet zubů
η	$[\circ]$	Úhel řezného pohybu
κ_r	$[\circ]$	Pracovní úhel nastavení hlavního ostří
φ	$[\circ]$	Úhel posuvového pohybu

0 Úvod

Vrtání je historicky jednou z nejstarších výrobních operací sloužících ke zhotovení nebo zvětšení děr v obrobku. Technologie vrtání také patří mezi nejpoužívanější operace v průmyslové praxi. Tato operace je zastoupena nejen v oblasti strojírenské výroby, ale i v lékařství, ve stavebnictví, geologii a v dalších oborech.

Jedná se o obrábění vnitřních rotačních ploch, zpravidla dvoubřitým nástrojem. Dříve se díry vrtaly hlavně na vrtacích strojích, tzv. „vrtačkách“ se svislým vřetenem, ale v dnešní době je již tento způsob nevyhovující. Vrtání se dnes přesouvá převážně na obráběcí centra. V současném obrábění kovů se také vrtá velké množství hlubokých děr, to však provázejí zdlouhavé strojní časy. Obecně platí, že čím hlubší je díra, tím obtížnější je vrtací operace.

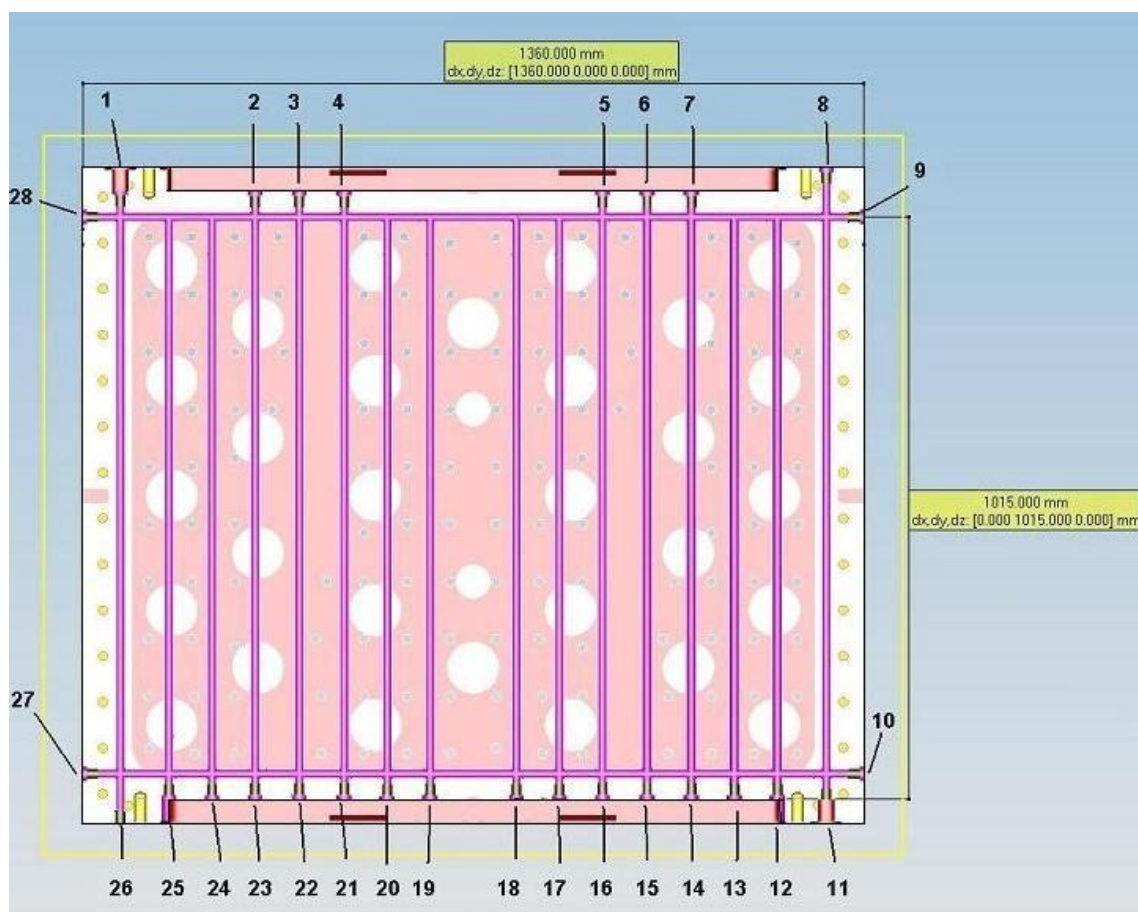
Revoluce v technologii vrtání otvorů nastala v roce 1861, kdy Stephen A. Morse přichází se svou představou šroubovitého vrtáku. Tento se stává ze dvou paralelních šroubovitých drážek, které jsou na jednom konci zakončeny dvěma břity a na druhém přechází do válcové upínací stopky. Roku 1863 přihlašuje Morse svůj patent u United States Patent Office. [1]

Od doby Morseova patentu je konstrukce šroubovitého vrtáku prakticky nezměněna. Šroubovitý vrták z rychlořezné oceli zůstává, i přes velkou konkurenci nových nástrojů, nejpoužívanější. A to díky své jednoduché výrobě, použitelnosti a možnosti přestřování. Ale u obráběcích center ho pomalu, ale jistě nahrazují šroubovitě vrtáky ze slinutých karbidů, které dosahují výrazně vyšších řezných rychlostí a také větší trvanlivosti. Vyrábí se v podobě monolitních vrtáků, ale i jako vrtáky s výměnnými břitovými destičkami. Vrtáky se nejdříve vyráběly zkrucováním polotovaru s přímými drážkami, později tvářením, dále protlačováním za tepla, až po frézování a hlavně vybrušování šroubovitých drážek do předem zakalených a na přesný průměr vybrušených polotovarů [8].

V bakalářské práci je řešena problematika vrtání hlubokých děr. Součástí práce bude porovnání dvou typů dělových vrtáků, následné zhodnocení produktivity a návrh dělového vrtáku pro optimální výrobu.

1 Obecná charakteristika daného problému

Bakalářská práce je zhotovena pro nástrojárnu v Hnátnici, která je součástí společnosti Rieter Automotive CZ s.r.o. Zde se vyrábí tvářecí nástroje pro výrobu tepelných a zvukových izolací pro automobilový průmysl. Při výrobě těchto nástrojů se vrtá velké množství hlubokých děr. Až do hloubky 1820 mm. Hluboké díry se zde vrtají pomocí jednobřitých dělových vrtáků s pájeným břitem z SK - vše však provázejí zdlouhavé strojní časy. Proto je hlavním úkolem práce návrh zproduktivnění hlubokého vrtání a porovnání dvou typů dělových vrtáků na stroji TOS WHN 13 CNC na dvou vzorcích tvářecího nástroje.



Obr. 1 Vzorek tvářecího nástroje v řezu

1.1 Představení společnosti Rieter Automotive CZ s.r.o.

Rieter Automotive CZ s.r.o. je českou společností s ručením omezeným, jejímž majoritním vlastníkem je švýcarský koncern Rieter se sídlem ve švýcarském Winterthuru. Jeho vznik se datuje k roku 1795. Dnes má koncern Rieter okolo 15 000 zaměstnanců v závodech a obchodních zastoupeních na více než 70 místech po celém světě.

Koncern RIETER podniká ve dvou divizích a to:

- **Textile Systems** vyvíjí a vyrábí stroje a zařízení pro zpracování příze a strojírenské komponenty
- **Automotive Systems** vyvíjí a vyrábí nástroje a díly pro zvukové a tepelné izolace ve vozidlech pro automobilový průmysl.

Úředním jazykem v rámci společnosti je angličtina.

Rozdělení společnosti Rieter Automotive CZ s.r.o.

Závod Automotive v Chocni:

- Výroba zvukově a tepelně izolačních dílů pro automobilový průmysl

Závod Nástrojárna v Hnátnici:

- Výroba tvářecích nástrojů pro výrobu tepelných a zvukových izolací pro automobilový průmysl

Závod Nástrojárna Hnátnice

Nástrojárna Hnátnice byla slavnostně otevřena v roce 1998. Z původního výrobního programu slévárenských tlakových forem přešla k výrobě technicky náročných nástrojů sloužících k výrobě tepelně a zvukově izolačních dílů pro automobilový průmysl. Na nástrojích se lisují díly z ocelového nebo hliníkového plechu či pěnové a kobercové dílce.

Z původního počtu 35 pracovníků se během krátké doby závod rozrostl na současných 190 zaměstnanců, kteří se podílejí na vývoji, konstrukci a výrobě prototypových a sériových dílů.

V celé nástrojárně je zavedena bezvýkresová dokumentace – data v prohlížečích na všech pracovištích. Pro konstrukční práce se používá 3D CAD počítačový systém „Unigraphics“ nebo „Catia“.

Vybavení nástrojárny - CNC obrábění**Pro hrubování - Drop Rein 1600**

Dále 6 horizontálních frézek značky TOS, s označením WHN 13 CNC nebo WH 10 CNC. Na těchto strojích se také provádí vrtání chladících děr pomocí dělových vrtáků do hloubky až 1820 mm a průměru díry 19 nebo 20 mm.

Pro dokončování - Trimill VU 13 a Drop Modimill. Oba stroje pracují v 5 osách (x, y, z, c, cb) Dále pro dokončování 2 stroje s označením WFN 180 HQS.

Pro malé díly dvě obráběcí centra MCFV 125 ZPS (Zlín). Pojezdy v osách jsou 1200x600 a obrobek může vážit až 1350 kg.

Společnost vyrábí:

- tvářecí nástroje o rozměrech max. 3000 x 2000 x 1200 mm, na kterých dále lisuje díly (kobercové, akustické, pěnové a tepelné štíty)
- ocelové konstrukční díly
- jednoúčelové stroje a strojní zařízení
- kontrolní měrky

Používané materiály:

- ocel
- hliník
- laminát
- slitiny mědi
- polyamidy

Odběratelé:

- **85% firem v rámci koncernu Rieter:** Německo, Švýcarsko, Francie, Belgie, Polsko, Itálie, Velká Británie, Španělsko, Portugalsko, Turecko, Jihoafrická republika, USA.
- **15% externí firmy:** Alcan (Německo), Ideal Automotive (ČR), Magna Cartech (ČR).

Závod Nástrojárna Hnátnice je držitelem certifikátů:

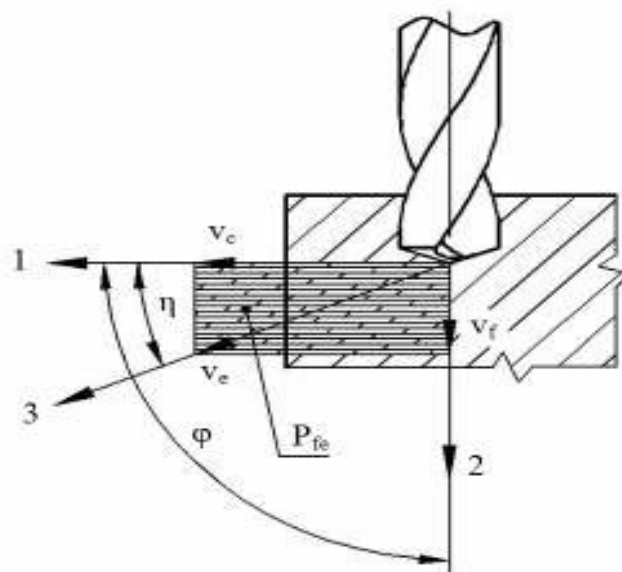
- VDA 6.4
- ISO 9001
- ISO/TS 16949
- ISO 14001

2 Technologie vrtání

Vrtání je vysoce efektivní a účinný proces pro obrábění válcových děl. Zhotovují se jím díry do plného materiálu nebo se jím zvětšují díry již jinak vyrobené. A to díry předlité, předvrtané, předlisované, předkované atd. Požadavky na utváření a odvádění třísky při procesu vrtání jsou mnohem vyšší než u soustružení a frézování.

2.1 Charakteristika technologie vrtání

Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává ho ve většině případů nástroj otáčením kolem své podélné osy (např. u vrtaček, obráběcích center a vyvrtávačků). Ale výjimečně jej vykonává obrobek (např. u soustruhů). Vedlejší pohyb je posuvný ve směru podélné osy nástroje směrem do materiálu. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, ve které vstupuje vrták do obráběného materiálu.



Obr. 1 kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [2]

1 – směr hlavního pohybu

2 – směr posuvového pohybu

3 – směr řezného pohybu

v_c – řezná rychlost

v_f – posuvová rychlost

v_e – rychlost řezného pohybu

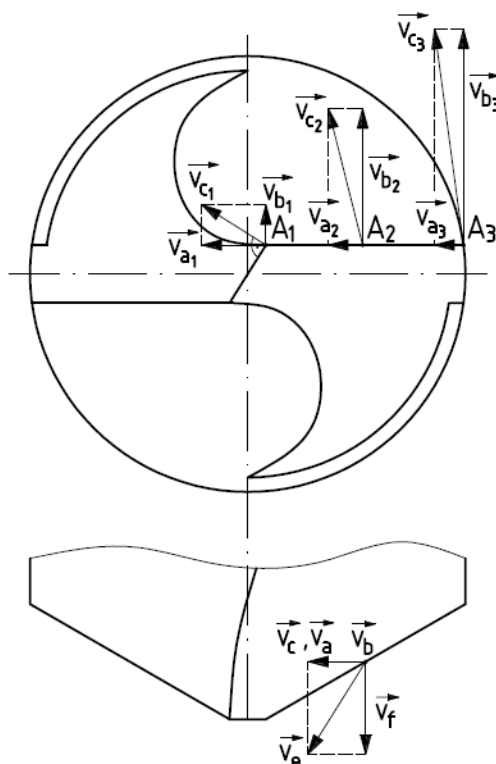
P_{fe} – pracovní boční rovina

φ - úhel posuvového pohybu

η - úhel řezného pohybu

2.2 Řezná rychlost při vrtání

Za řeznou rychlost se považuje rychlost na vnějším (maximálním) obvodu nástroje. Řezná rychlost se podél hlavního ostří, směrem od obvodu ke středu nástroje, zmenšuje (v ose nástroje je nulová). To způsobuje technologické problémy, např. příčný břit v ose vrtáku vzhledem k nepříznivé geometrii v podstatě třísku neodebírá, ale materiál pouze plasticky deformuje. [3]



Obr. 2 Směry vektoru hlavního a vedlejšího pohybu při vrtání dvoubřitým šroubovým vrtákem [3]

Řezná rychlost v_{ci} v každém bodě hlavního ostří A_i tedy závisí na jeho vzdálenosti od středu D_i [mm] a otáčkách vrtáku n [min^{-1}] a je dána vztahem [4]:

$$v_{ci} = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (1)$$

V technické praxi se obvykle pro výpočty stanovuje jen jedna řezná rychlost a to na obvodu nástroje. Je charakterizována počtem otáček a průměrem nástroje. Průměr vrtáku je udáván v milimetrech, proto se výsledek musí dělit 1000. [4]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (2)$$

kde D [mm] je průměr nástroje.

Výpočet rychlosti řezného pohybu [4]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m/min}] \quad (3)$$

Posuvová rychlost je posuv nástroje vůči obrobku, popřípadě posuv obrobku vůči nástroji vyjádřený délkou dráhy za jednotku času. Závisí na posuvu za otáčku f [mm] a otáčkách vrtáku n [min^{-1}] a je dána vztahem [4]:

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm/min}] \quad (4)$$

Jelikož jsou vrtáky v některých případech vícebřité nástroje, definuje se pro ně i posuv na zub (resp. břit) f_z [4]:

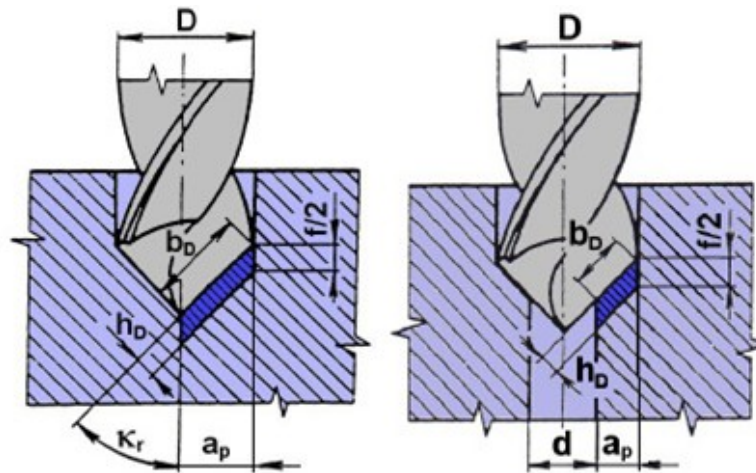
$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

2.3 Průřez třísky při vrtání

Výpočet průřezu třísky

Při výpočtu průřezu třísky A_D pro vrtání do plného materiálu a při zvětšování předvrtané díry vycházíme z parametrů uvedených na obr. 3, kdy je tříska odebírána jedním břitem šroubovitého vrtáku. [5]

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_P \cdot \frac{f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (6)$$



Obr. 3 Průřez třísky při vrtání dvoubřítým šroubovým vrtákem [5]

D [mm] – průměr vrtáku

d [mm] – průměr předvrtané díry

f [mm] – posuv za otáčku

h [mm] – jmenovitá tloušťka třísky

b_D [mm] – jmenovitá šířka třísky

$\kappa_r [^\circ]$ – pracovní úhel nastavení hlavního ostří

a_p [mm] – šířka záběru ostří šroubovitého vrtáku

Šířka záběru

- do plného materiálu je $a_p = D/2$
- do předpracované díry (předvrtané, přelité, přelisované apod.) $a_p = (D - d) / 2$

Na základě těchto skutečností můžeme vyjádřit vztah pro výpočet průřezu třísky jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu [5]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (7)$$

Při vrtání do předpracované díry vypadá vztah takto [5]:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (8)$$

Pro vrtání dvoubřítým nástrojem do plného materiálu se celkový průřez třísky vypočítá ze vztahu [5]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (9)$$

Při vrtání do předpracované díry [5]:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (10)$$

Výpočty parametrů průřezu třísky při obrábění šroubovitým vrtákem [5]:

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do předpracované díry:

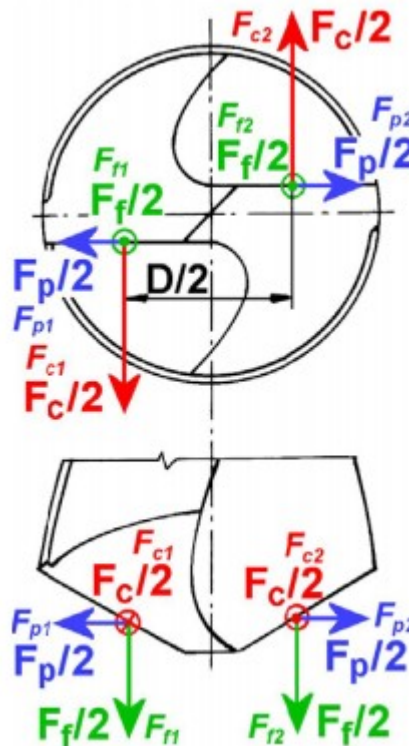
$$b_D = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (12)$$

Jmenovitá tloušťka třísky:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

2.4 Síla řezání a její složky

Aby mohl vrták překonat odpor vznikající při obrábění, musí na něj působit síla řezání a její složky. Standardní šroubovitý vrták má 2 břity, které jsou symetricky postaveny vůči jeho ose. Pro získání výsledné síly řezání musíme uvažovat složky působící na obou břitech nástroje (obr. 4). [5]



Obr. 4 Složky síly řezání při vrtání [5]

Posuvová složka síly vrtání [5]:

$$F_f = F_{f_1} + F_{f_2} \quad [\text{N}] \quad (14)$$

Pasivní složka síly vrtání [5]:

$$F_p = F_{p_1} + F_{p_2} \quad [\text{N}] \quad (15)$$

Řezná složka síly vrtání [5]:

$$F_c = F_{c_1} + F_{c_2} \quad [\text{N}] \quad (16)$$

Při správném a přesném naostření jsou síly na obou břitech stejné [5]:

$$F_{f_1} = F_{f_2} = \frac{F_f}{2} \quad [\text{N}] \quad (17)$$

$$F_{p_1} = F_{p_2} = \frac{F_p}{2} \quad [\text{N}] \quad (18)$$

F_p je tedy 0

$$F_{c_1} = F_{c_2} = \frac{F_c}{2} \quad [\text{N}] \quad (19)$$

Při vrtání lze stanovit jednotlivé složky síly vrtání pro celý nástroj pomocí empirických vztahů [5]:

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (20)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (21)$$

C_{Ff} , C_{Fc} – konstanty vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu [-]

x_{Ff} , x_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku [-]

y_{Ff} , y_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku [-]

D – průměr vrtáku [mm]

f – posuv za otáčku [mm]

Pro výpočet krouticího momentu využijeme vztahy 1.19 a 1.21 a získáme tak vztah (1.21) [5]:

$$M_k = \frac{1}{4} \cdot C_{Fc} \cdot D^{(x_{Fc}+1)} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{Nmm}] \quad (22)$$

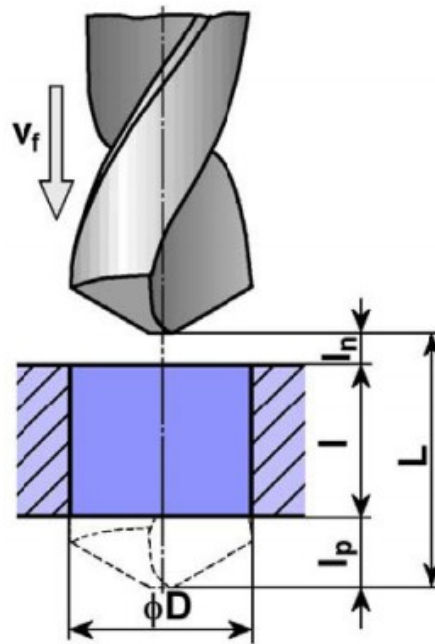
Pro zjištění řezného výkonu máme vztah [5]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5} \quad [\text{kW}] \quad (23)$$

v_c – řezná rychlost získaná ze vzorce (2) [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

2.5 Strojní čas

Výpočet strojního času u vrtání je oproti frézování a jiným operacím jednodušší. Nástroj se při vrtání pohybuje pouze v jedné ose. Vztah, pro výpočet jednotkového strojního času při vrtání průchozí díry na obr. 5, platí např. pro dělové vrtáky a monolitní vrtáky z SK (u vrtáků z RO musíme počítat s výjezdy pro výplach a lámání třísek):



Obr. 5 Dráha vrtáku [5]

Vyjádření vztahu jednotkového strojního času při vrtání průchozí díry[5]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (24)$$

l_n - náběh vrtáku [mm]

l - délka vrtané díry [mm]

l_p - přeběh vrtáku [mm]

v_f - posuvová rychlost [mm.min⁻¹]

n - otáčky vrtáku [min⁻¹]

f - posuv na otáčku [mm]

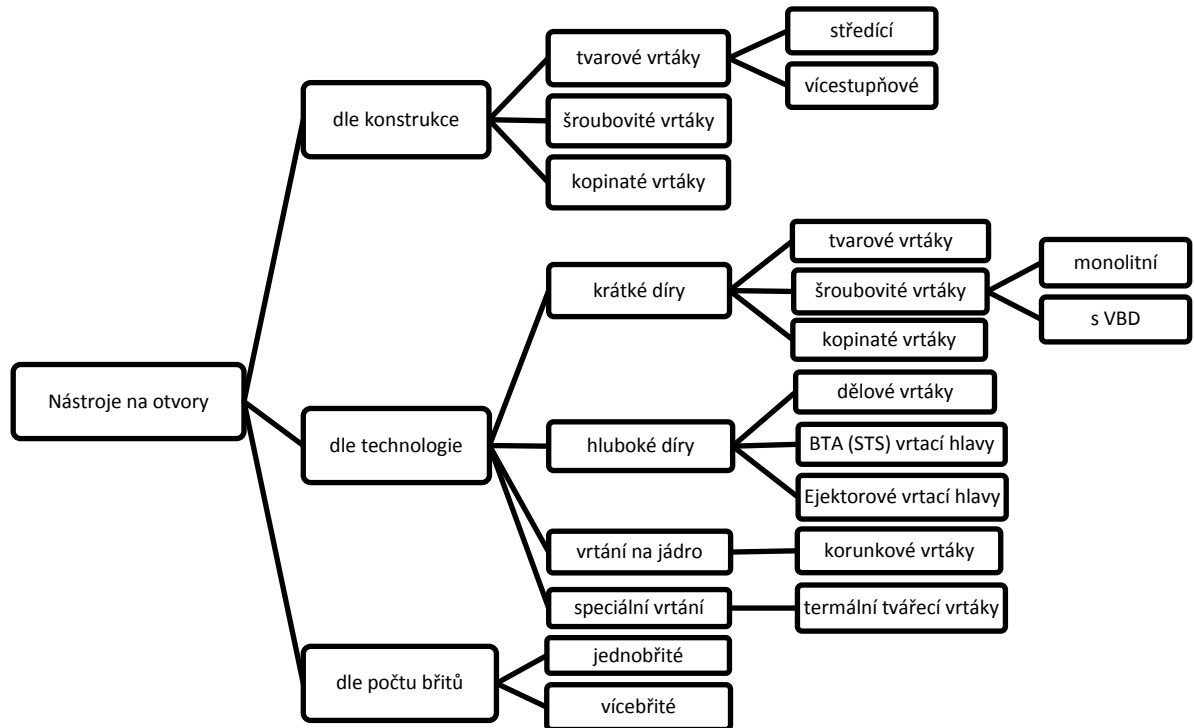
Pro standardní vrtáky s úhlem špičky $2\kappa_r = 118^\circ$ [5]:

$$l_p = 0,5D \cdot \tan 31^\circ + (0,5 \div 1,0) \cong 0,3D + (0,5 \div 1,0) \quad [\text{mm}] \quad (25)$$

$$l_n = (0,5 \div 1,0) \quad [\text{mm}] \quad (26)$$

2.6 Rozdělení nástrojů na otvory:

Nástroje na otvory můžeme rozdělit do různých skupin. A to podle důležitých parametrů jako je technologie, konstrukce, druh vrtání a geometrie vrtáků.



Obr. 6 rozdělení nástrojů pro vrtání

2.6.1 Nástroje pro vrtání krátkých děr

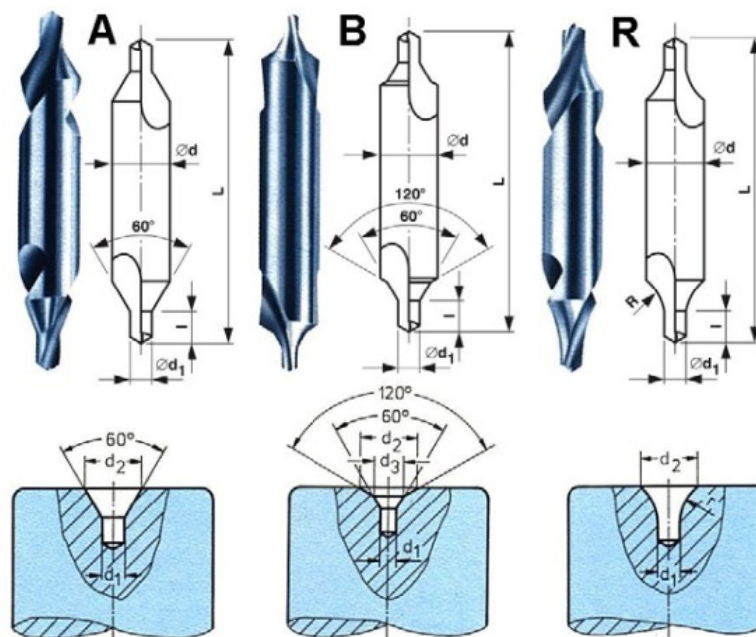
Krátké otvory jsou obecně o maximální délce $L = 5 \text{ až } 10D$. Kde D = průměr díry a L = délka díry. K těmto operacím se využívají hlavně vrtáky šroubovitě a kopinatě.

Tvarové vrtáky

Tyto vrtáky nám umožňují slučovat více operací dohromady. Jako např. u vytváření odstupňovaných otvorů. Podle počtu odstupňování rozlišujeme dvoustupňové a vícestupňové. Nejčastější sloučení operací je vrtání a zahloubení, dále vrtání a vyhrubování, vrtání a vystružování atd. Výroba těchto vrtáků je poměrně nákladná. Používají se většinou v sériové hromadné výrobě. Zvláštní skupinou tvarových vrtáků jsou středící vrtáky. [7]

Středící vrtáky

Nebo jinak nazývané vrtáky na středící dŮlky, slouží k navrtávání začátku díry do plného materiálu. Také pro navrtání přesné polohy při vrtání šroubovitým vrtákem. Velmi často jsou používány k navrtávání středícího otvoru pro podepření obrobku na soustruhu (do koníka) nebo u broušení rotačních součástí.



Obr. 7 Typy středících vrtáků [5]

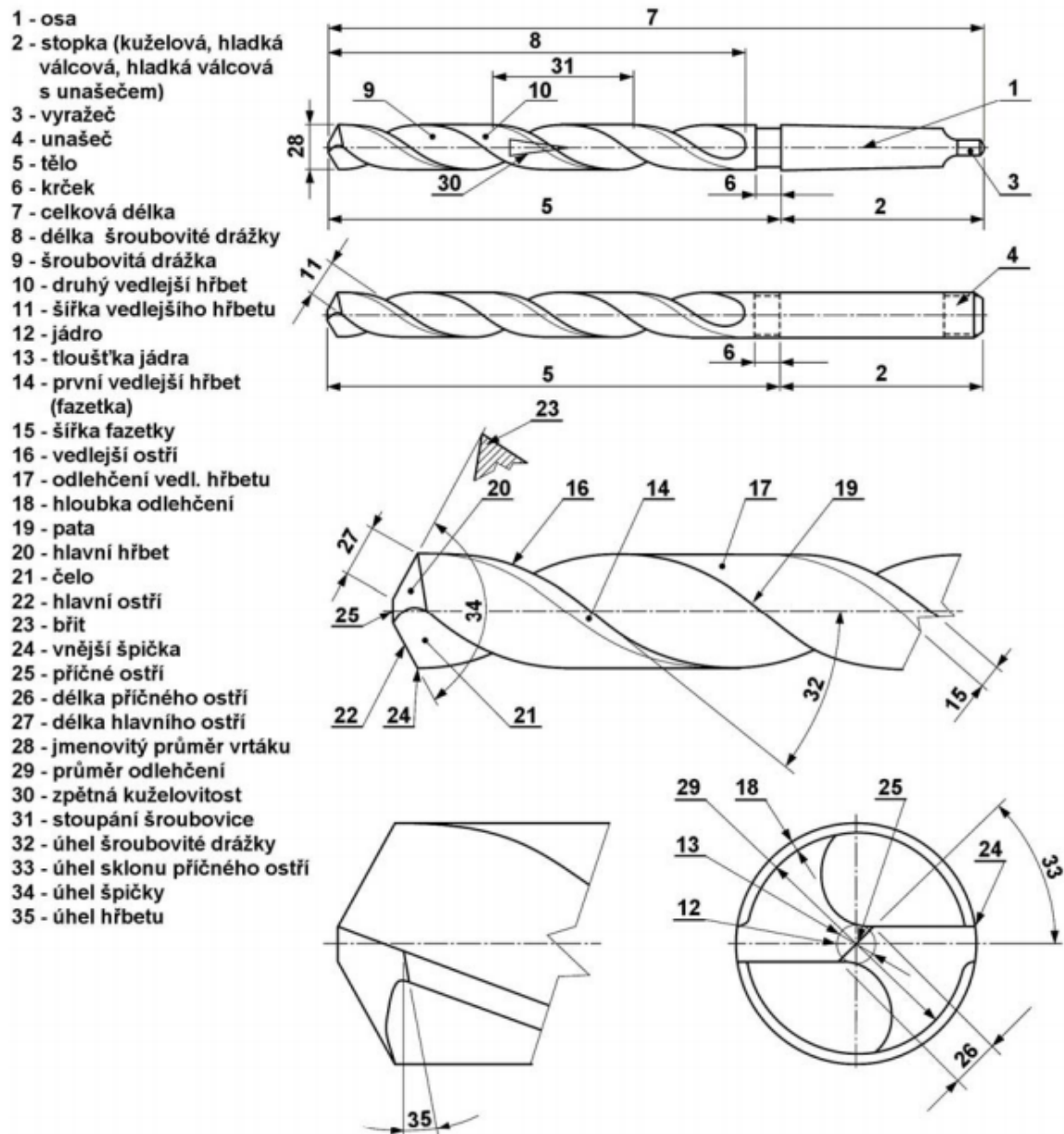
Šroubovité vrtáky

Šroubovité vrtáky (obr. 8) jsou nejpoužívanější nástroje pro vrtání krátkých děr. Jsou to dvoubřité rozměrové nástroje, které se používají pro vrtání děr do plného materiálu, k rozšiřování již předvrtaných děr, k předvrtání pro výhrubníky (výstružníky) a vnitřní závit.

Klasický šroubovitý vrták se skládá z válcového těla, na kterém jsou vytvořeny dvě protilehlé drážky pro odvod třísky a pro přívod řezné kapaliny. Úhel stoupání šroubovice označujeme λ_s . Toto stoupání není u všech vrtáků stejné. Liší se podle toho, jaký materiál chceme obrábět. Úhel stoupání šroubovice je pro vrtáky určené k vrtání ocelí a litin běžných pevností a tvrdostí $27^\circ \pm 5^\circ$. Pro vyvrtávání materiálů s vysokou houževnatostí (měkké oceli, slitiny hliníku, termoplasty) mají vrtáky větší úhel ($42^\circ \pm 5^\circ$). Úhel $12^\circ \pm 5^\circ$ mají vrtáky pro vrtání tvrdších materiálů (bronz, mosaz, tvrdá pryž, plexisklo). [5]

Hlavní ostří vrtáků jsou spojena příčným ostřím, které nám nepříznivě ovlivňuje pracovní podmínky (zvětšuje krouticí moment a posuvovou sílu). Proto se snažíme příčné ostří různými úpravami odstranit (např. podbroušením) nebo se nástroj konstruuje tak, aby bylo příčné ostří odstraněno. [5]

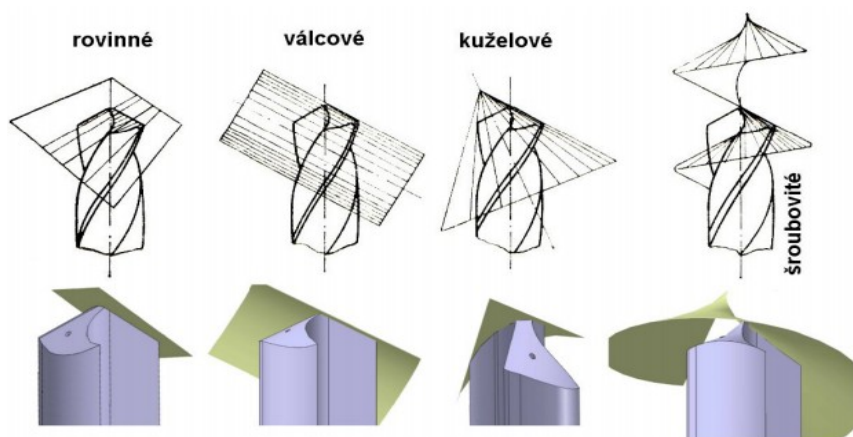
Jmenovitý průměr D , který se uvádí, je měřen na čele vrtáku, protože vrták se směrem ke stopce nepatrně zužuje. Zúžení vrtáku na 100 mm délky je 0,02 až 0,08 mm. Na celkové délce šroubovice může být zúžení maximálně 0,25 mm. Toto se provádí za účelem snížení tření, a tím i snížení tepelného namáhání vodící fazetky ve vrtané díře. Původní rozměr se ponechává pouze na úzké ploše (fazetce) u hrany každé drážky. [8]



Obr. 8 Základní parametry šroubovitého vrtáku [5]

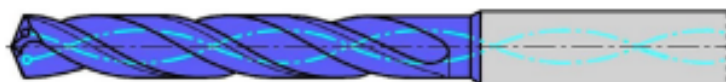
Pro běžné nelegované oceli střední pevnosti a litiny střední pevnosti, se používají vrtáky s úhlem špičky $\epsilon_r = 2\kappa_r = 118^\circ$, pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů úhel špičky 140° , pro vrtání plastů a tvrdých pryží úhel 90° . V některých případech vybrušujeme vrták pod dvojitým úhlem např. 90° a 120° . Tím dosáhneme snížení opotřebení nástroje v důsledku snížení jeho tepelného namáhání a zmenšuje se i posuvová složka síly řezání. Toto se používá hlavně pro vrtání materiálů s horší obrobitelností. [5]

Nástrojové úhly hřbetu i čela podél hlavního ostří jsou u šroubovitého vrtáku proměnné. Průběh úhlů hřbetu i čela podél hlavního ostří je ovlivněn způsobem podbroušení hlavního hřbetu. Podbroušení může být podle kuželové, válcové, šroubovitě nebo rovinné plochy (obr. 9). [5]



Obr. 9 Způsoby podbroušení hřbetních ploch [5]

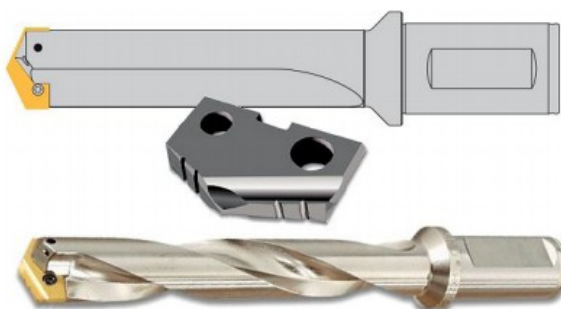
Materiál pro šroubovitě vrtáky: rychlořezná ocel, pro těžší podmínky obrábění s pájenými destičkami z SK, slinuté karbidy na vrtáky z monolitních materiálů bez povlaků nebo s povlaky proti otěruvzdornosti. Většinou na bázi TiN. Šroubovitě vrtáky mohou mít „vnitřní chlazení“ - díry pro centrální přívod řezné kapaliny (obr. 10) [5]



Obr. 10 Vrták s vnitřním chlazením [5]

Kopinaté vrtáky

Jsou to dvoubřité nástroje s příčným ostřím a s vnějším odvodem třísek. Výhoda kopinatých vrtáků je, že jsou velmi tuhé a lze pomocí nich vrtat díry bez navrtávání od průměru 28 mm do 128 mm. Důležité je dodržet poměr délky k průměru maximálně $L/D = 3/1$. Drsnost povrchu těchto děr je horší než u vrtání šroubovitým vrtákem. Kopinaté vrtáky se vyrábí častěji s vyměnitelnými destičkami z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu, ale výjimečně i jako monolitní. Destičky mají speciální tvar. Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří je obvykle $\kappa_r = 66^\circ$. Na hřbetu je vybroušena fazetka, a to pro menší tření v díře. Většina těchto vrtáků vyrábí s vnitřním přívodem procesní kapaliny. [2]



Obr. 11 Kopinatý vrták [5]

2.6.2 Nástroje pro vrtání hlubokých děr

Za hluboký otvor považujeme díru o délce $L > 10D$. Nejčastěji používáme dělové, ejektorové nebo BTA (STS) vrtáky.

Dělové (hlavňové) vrtáky

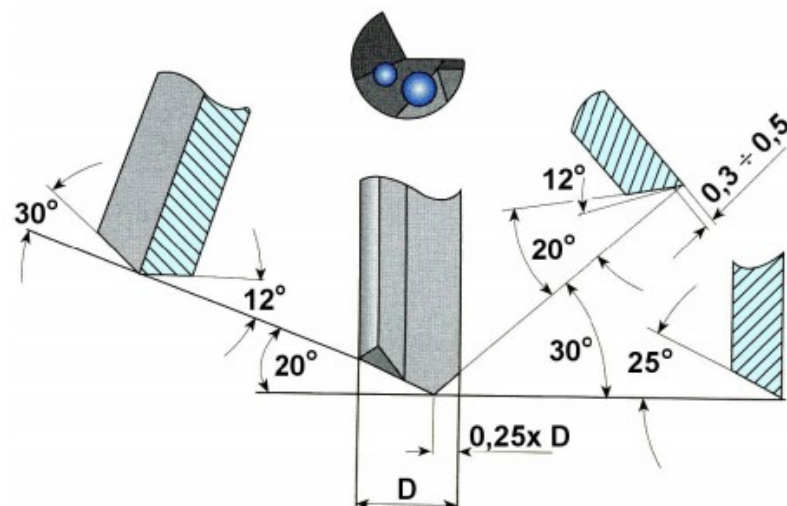
Dělové vrtáky jsou vysokovýkonné vrtací nástroje používané pro vrtání hlubokých děr od hloubky $10xD$ až do hloubky několika metrů a pro průměry od 0,5 mm až do 80 mm. [9]

S těmito vrtáky přišla na trh jako první firma Botek. Dělový vrták je ve většině případů jednobřítý nástroj, takže řezné síly jej okamžitě odtlačují do strany, a proto není schopen se sám zavrtat do materiálu. Z toho důvodu je nutné mu vytvořit na začátku vrtání vedení. Na speciálních strojích pro hluboké vrtání se používá vrtací pouzdro s otvorem v toleranci F7 nebo lépe G6. V ostatních případech si musíme vystačit s vytvořením pilotní díry, která má průměr dělového vrtáku, zvětšený o 0,01 až 0,02 mm, a hloubku jeden až dva násobky průměru.

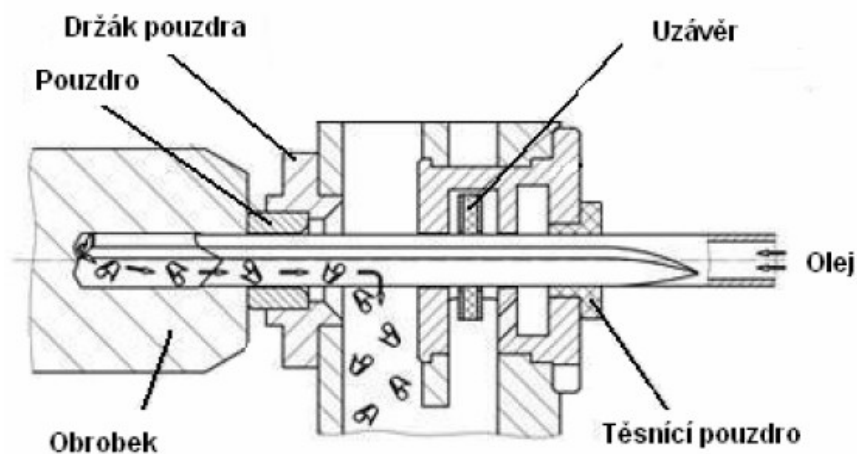
Dělové vrtáky a obecně nástroje pro hluboké vrtání nemají šroubovici, která by pomáhala odvádět třísky z otvoru. Jediným prostředkem, který vynáší třísky je procesní kapalina. Čím menší je průměr nástroje, čím větší je vrtaná hloubka a čím delší třísky při obrábění vznikají, tím vyšší tlak média je nutný.

Jako nejlepší procesní kapalinou pro hluboké vrtání je speciální olej pro hluboké vrtání, dále emulze a nakonec systém minimálního mazání, což je stlačený vzduch s olejovou mlhou. Na kvalitě oleje a emulze velmi záleží. Kvalitní hlubokovrtací olej či emulze zabraňují studenému sváru mezi nástrojem a materiálem a pomáhají udržet olejový film na nástroji i při velkém tlaku a teplotě.

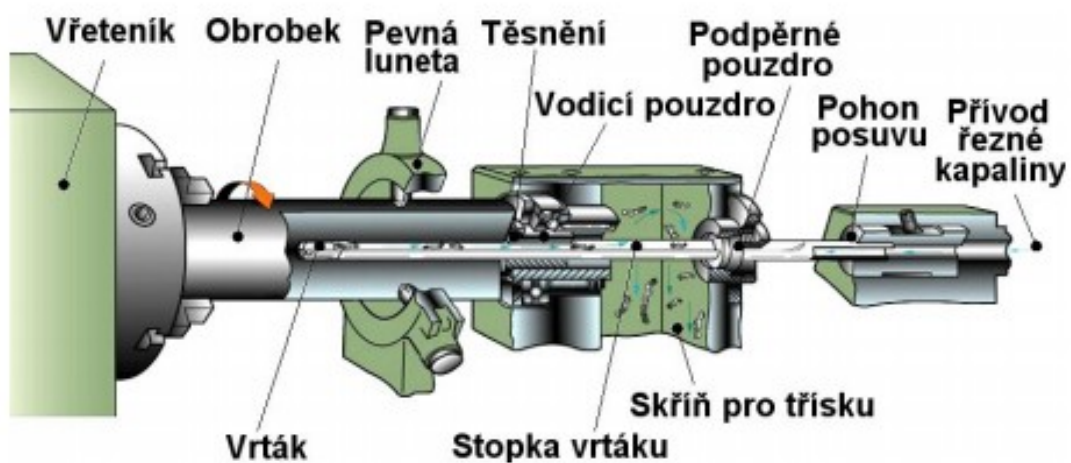
Dělové vrtáky jsou speciální, nesouměrné, většinou jednobřité nástroje se dvěma vodícími lištami. Pomocí nich vrtáme hluboké díry s přesností do IT8, a to do plného materiálu. Konstrukce nástroje je taková, že na trubku nebo tyč potřebné délky je připájena řezná část, která je z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu. V dnešní době se setkáme i s dělovými vrtáky s VBD. Spolehlivé středění u těchto vrtáků zajišťují vodítka rovněž připájená k tělesu vrtáku. Procesní kapalina je do místa řezu přiváděná otvory v těle vrtáku a zajišťuje vyplavování vznikajících třísek (obr. 13). Jako procesní kapalinu používáme olejovou mlhu nebo olej. Pro obrábění dělovými a hlavňovými vrtáky jsou využívány speciální vrtací stroje i speciálně upravené soustruhy (obr. 14). [5]



Obr. 12 Geometrie dělových vrtáků o průměru 4 – 32 mm [5]



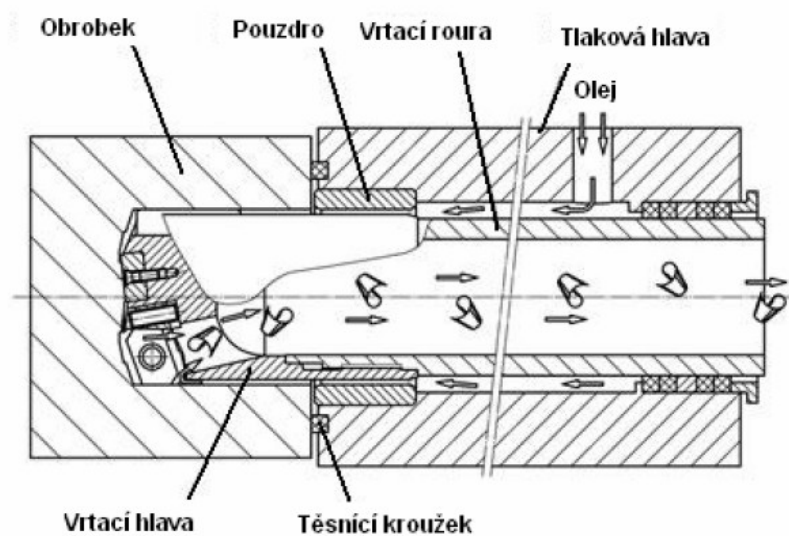
Obr. 13 Princip vrtání dělovým vrtákem [9]



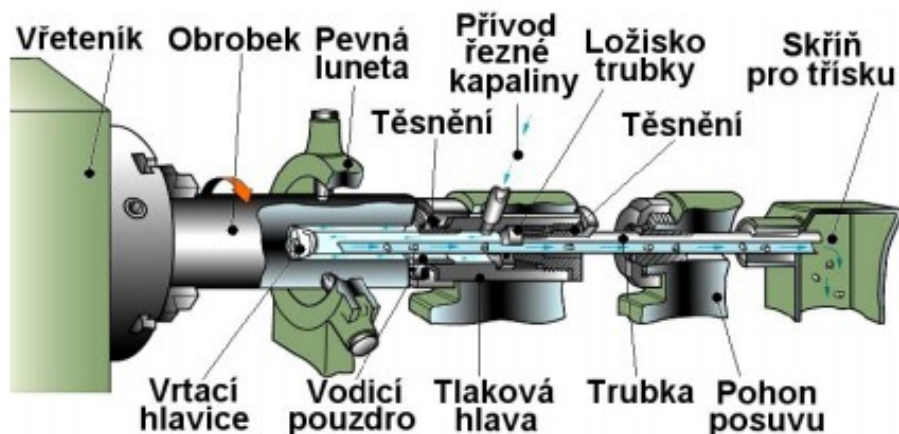
Obr. 14 Zařízení pro vrtání hlavňovým vrtákem [5]

BTA (STS) vrtací hlavy

Vrtací hlavy BTA (STS) jsou vysokovýkonné s typickým použitím pro velké průměry v hloubce až 100xD. Jsou vhodné hlavně pro stroje specializované na hluboké vrtání. BTA vrtací hlavy nejsou ideální pro konvenční a CNC stroje. Lze je použít pro větší rozsah vrtaných průměrů než vrtací hlavy ejektorové. Další výhodou je, že s nimi lze obrábět jak díry předpracované, vrtat do plného materiálu, tak i díry vrtané metodou „na jádro“. Princip odvodu třísky od místa řezu spočívá v přivádění procesní kapaliny mezerou mezi stěnou vrtané díry a trubicí vrtáku. Společně s třískou je kapalina odváděna středem trubky (obr. 15). Mechanismus musí být opatřen těsněním (obr. 16). [5] [9]



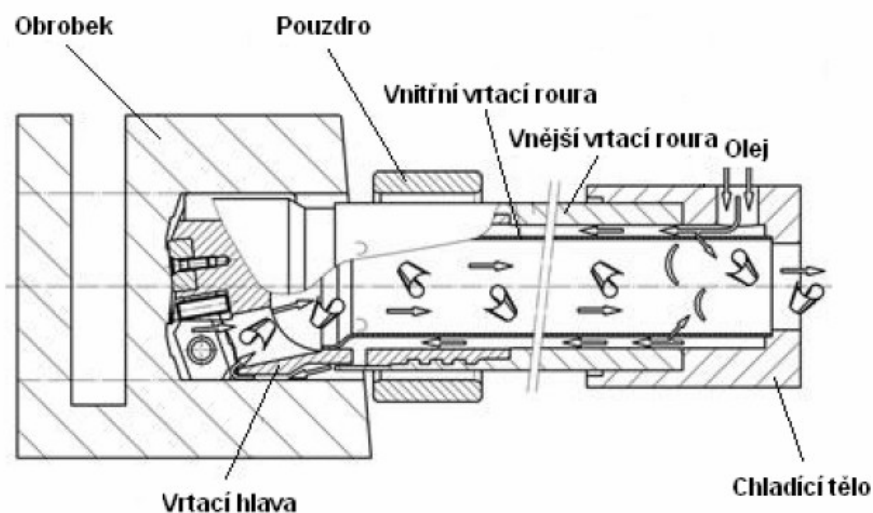
Obr. 15 Princip funkce BTA a STS vrtáku [9]



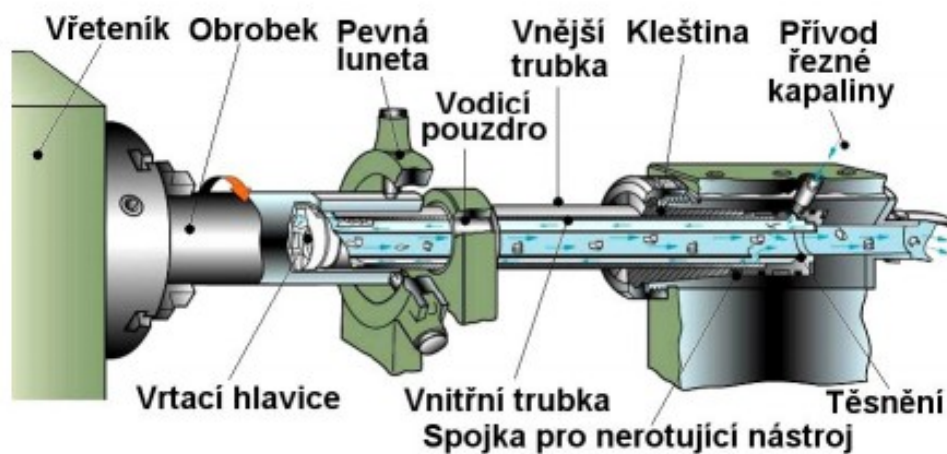
Obr. 16 Zařízení pro STS vrtání [5]

Ejektorové vrtací hlavy

Ejektorový neboli tzv. dvoutrubkový systém je odvozený z principu vrtání systémem BTA. Je vhodné pro vrtání otvorů, jejichž hloubka je větší než pětinasobek průměru a můžeme vrtat díry do hloubky až $100 \times D$. Skládají se z vrtací hlavy našroubované do vnější vrtací trubky. Ejektorová hlavice se vyrábí s vyměnitelnými destičkami. Procesní kapalina přichází k místu řezu mezikružím mezi vnější a vnitřní trubkou. Malé množství procesní kapaliny odchází štěrbinami, v zadní části vnitřní trubky, což způsobuje ejektorový efekt – nasávání kapaliny směrem od břitů vrtáku a strhávání vznikajících třísek (obr. 17). K obrábění využíváme konvenční obráběcí stroje (obr. 18), CNC soustruhy i obráběcí centra. Těmito hlavami můžeme vrtat průměry od 18,4 mm až do 200 mm. [5] [9]



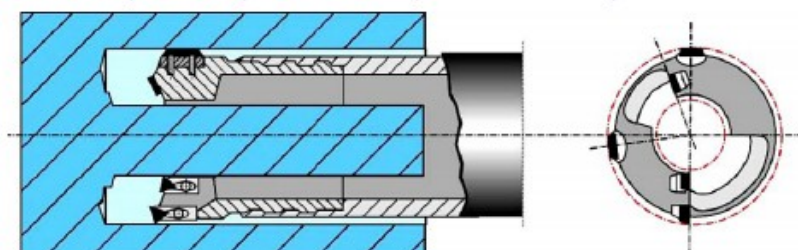
Obr. 17 Princip ejektorového vrtání [9]



Obr. 18 Zařízení pro ejektorové vrtání [5]

2.6.3 Vrtání „na jádro“

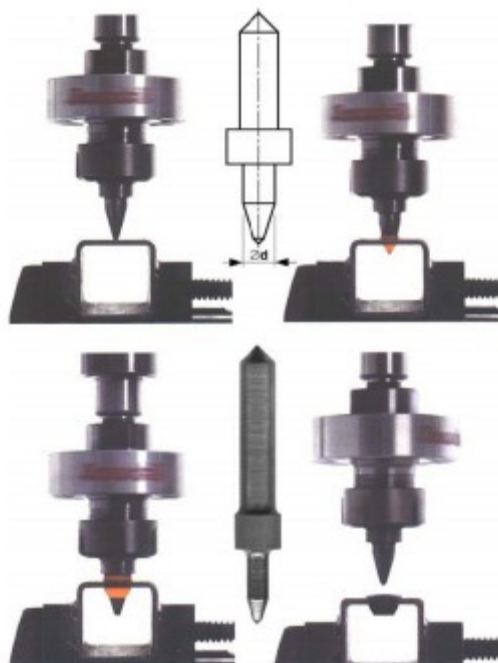
Jedná se o odřezávání obráběného materiálu ve tvaru mezikruží jednobřitým nebo vícebřitým korunkovým (trepanačním) vrátkem (obr. 19). Používá se pro vrtání průchozích děr převážně větších průměrů. [5]



Obr. 19 Korunkový vrtač [5]

2.6.4 Speciální vrtání

Speciální druhy vrtání, např. vrtání děr do plechu termálním tvářecím vrátkem (obr. 20). Tento způsob se využívá při vrtání do tenkostěnných profilů. Hlavní výhoda je, že nám po vyvrtání vznikne mnohem delší část pro řezání závitu.



Obr. 20 Termální vrtání díry v tenkostěnném ocelovém profilu [5]

3 Návrh zproduktivnění hlubokého vrtání

Na stroji TOS WHN 13 CNC byl upnut jako první polotovar tvářecího nástroje – horní část a vyvrtány požadované hluboké otvory o $\varnothing 16$ mm. Pro vyvrtání těchto děr byl použit: NC navrtávák 16x115, monolitní vrták z SK s povlakem TiN $\varnothing 16$ mm od firmy Gühring a dále dělové vrtáky s pájeným břitem z SK o délce 600 a 1200 mm od firmy Botek.

Po tomto obrábění byl na stejný stroj upnut nový polotovar tvářecího nástroje – spodní část, která má stejné průměry i délky hlubokých děr jako horní část. Tentokrát byl na vyvrtání hlubokých otvorů o $\varnothing 16$ mm použit: NC navrtávák 16x115, monolitní vrták z SK s povlakem TiN $\varnothing 16$ mm od firmy Gühring, a dále dělové vrtáky s výměnnou břitovou destičkou z SK o délce 600 a 1200 mm od firmy Botek.

Nejdůležitější však bylo porovnání dosažených parametrů a následné vyhodnocení, který typ dělového vrtáku je produktivnější pro tento dílec. Další požadavek společnosti Rieter Automotive CZ s.r.o. je zjistit jaký typ dělového vrtáku je výhodnější jak z hlediska produktivity, tak z hlediska ceny vrtání.

3.1 Použité nástroje

dělový vrták Botek- typ 110 $\varnothing 16$ mm

Jedná se o jednobřítý dělový vrták s připájenou celokarbidovou hlavicí a se dvěma otvory pro vnitřní výplach. Nástroj je určen pro vrtání do plného materiálu s rozsahem průměrů 7,060 - 51,200 mm. Nevýhodou tohoto vrtáku je, že po otupení ho musíme nechat přebrousit. Přebroušováním vrták mění svou délku a minimálně i průměr. Proto musíme vždy znovu najíždět korekce nástroje.

Maximální parametry uváděné výrobcem pro $\varnothing 16$ mm a materiál 1.2312: řezná rychlost $v_c = 45$ [m/min], otáčky $n = 895$ [min^{-1}], posuv na otáčku $f = 0,06$ [mm].



Obr. 21 Dělový vrták – typ 110 [12]

dělový vrták Botek- typ 01 $\varnothing 16$ mm

Jedná se o jednobřítý dělový vrták s výměnitelnou břitovou destičkou a vodítky. Nástroj je určen pro vrtání do plného materiálu s rozsahem průměrů 15,000 - 43,990 mm. Výhoda tohoto vrtáku spočívá v tom, že měníme pouze břitové destičky. Nástroj má tak stále stejnou délku. Po výměně nebo otočení destičky můžeme okamžitě, bez jakéhokoli najíždění korekcí nástroje, pokračovat ve vrtání.

Maximální parametry uváděné výrobcem pro Ø16 mm a materiál 1.2312: řezná rychlost $v_c = 65$ [m/min], otáčky $n = 1293$ [min⁻¹], posuv na otáčku $f = 0,06$ [mm].

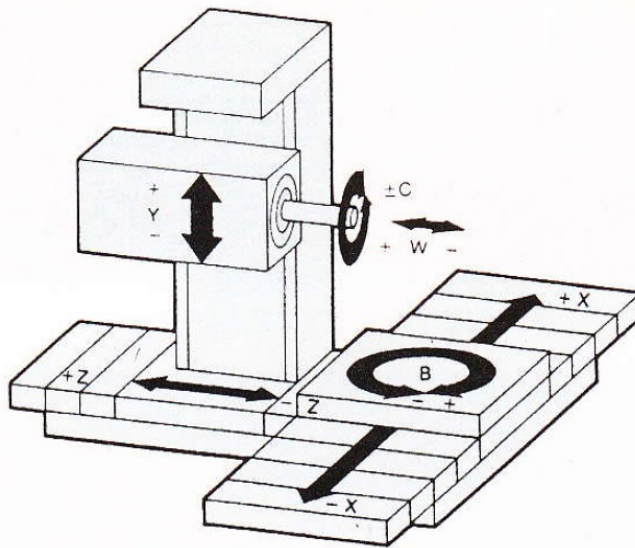


Obr. 22 Dělový vrták – typ 01 [12]

3.2 Stroj

Pro vrtání hlubokých děr se využívá 6 horizontálních frézek značky TOS, které mají označení WHN 13 CNC nebo WH 10 CNC. Jejich pojezdy v osách x a y jsou 2200x1800 mm a hmotnost obrobku může být až 12000 kg.

Pro experiment byla využita horizontální frézka WHN 13 CNC (obr. 23).



Obr. 23 Horizontální frézka TOS - WHN 13 CNC [10]

Tab. 1 Technické parametry stroje WHN 13 CNC [10]:

pojezdy v osách:	X	mm	2 200
	Y	mm	1 800
	Z	mm	1 250
	W	mm	800
rozsah otáček		min ⁻¹	10 - 1 500
rychloposuv (v osách X, Y, Z, W)		mm.min ⁻¹	8 000
pracovní posuv (osy X, Y, Z, W)		mm.min ⁻¹	4 – 3 000
pohon vřetene		kW	37
max. hmotnost dílce		kg	12 000

Pro vrtání dělovými vrtáky bylo použito mlhové chlazení, které zajišťuje přístroj VM1 od firmy VMsystem. Jedná se o přístroj určený k přesnému míchání stlačeného vzduchu s olejem. Lze ho použít k vnitřnímu i vnějšímu chlazení nástrojů. Přístroj je vybaven tlakovým zásobníkem oleje a velmi přesnou regulací tlaku, množství vzduchu i oleje. Hlavní využití přístroje spočívá v nasazení při dělovém vrtání. Přístroj dokáže pokrýt dělové vrtání v plném rozsahu 0,9 mm-50 mm vrtaného průměru.



Obr. 24 Mlhové chlazení

3.3 Materiál vzorku tvářecího nástroje

Tvářecí nástroje, do kterých se vrtaly hluboké otvory, jsou z materiálu 1.2312. Jde o chrom-mangan-molybdenovou ocel ke kalení na vzduchu nebo v oleji s velmi dobrou prokalitelností a dobrou pevností za tepla. Je dobře tvárná za tepla a to díky zvýšenému obsahu síry. Je dobře obrobitelná jak ve stavu žíhaném na měkko, tak i ve stavu zušlechtěném. Ocel má dobrou leštitelnost, lze ji cementovat v lázni nebo plynu i nanášet tvrdochrom.

Vhodnost použití

Nástroje pro zpracování umělých hmot jako jsou velké a střední formy, formovací rámy pro lití plastických hmot a kovů pod tlakem. Pro méně náročné nástroje možno používat ocel, ve zušlechtěném stavu na 950 až 1100 N/mm² již bez dalšího tepelného zpracování. [11]

Tab. 2 Chemické složení oceli 1.2312 v % [11]

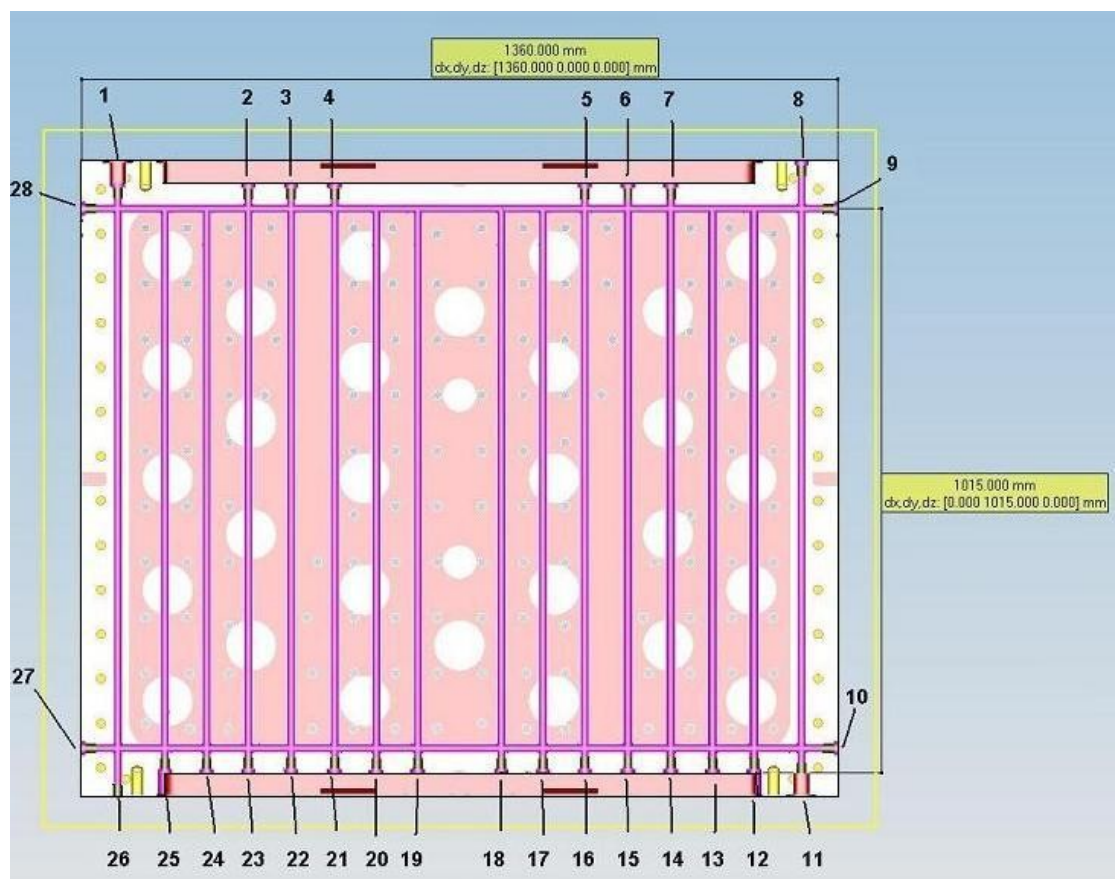
C	Mn	Si	Cr	Mo	P max.	S max.
0,35-0,45	1,40-1,60	0,30-0,50	1,80-2,00	0,15-0,25	0,03	0,05-0,1

3.4 Zhotovení vzorků

K experimentu mně společnost Rieter Automotive CZ s.r.o. poskytla polotovary tvářecího nástroje. Jako vzorky tedy volím dva tvářecí nástroje o rozměrech 1360x1140x242 mm. Do obou nástrojů vyvrtáme totožné hluboké otvory. Celkem 28 hlubokých děr o Ø16 mm. Na každý polotovar byly použity jiné dělové vrtáky a jiné parametry. Průchozí otvory jsou vrtány z obou stran do 1 poloviny délky plus 10 mm přeběh, pro lepší navázání děr.

Tab. 3 Rozměry vrtaných otvorů:

číslo otvoru	délka otvoru [mm]	průměr otvoru [mm]
1, 8, 11 a 26	570+10	16
2-7, 14-16 a 21-23	530+10	
9, 10, 27 a 28	680+10	
12, 13, 17-20, 24 a 25	1015	



Obr. 25 Vzorek tvářecího nástroje v řezu

3.5 Návrh nové technologie

I když je dnes možné použití nástrojů pro hluboké vrtání na obráběcích centrech, stále platí, že nejlepších výsledků a výkonů dosahují speciální stroje na hluboké vrtání.

Proto bychom pro další zproduktivnění hlubokého vrtání museli použít jiný stroj. A to speciální stroj na hluboké vrtání, jako je např.: vrtací speciál I.M.S.A. "MF 2000 BB".

Nástroje na hluboké vrtání se zde používají stejné jako u původní technologie. Ale využijeme zde jejich maximálních řezných rychlostí.

Nástroje

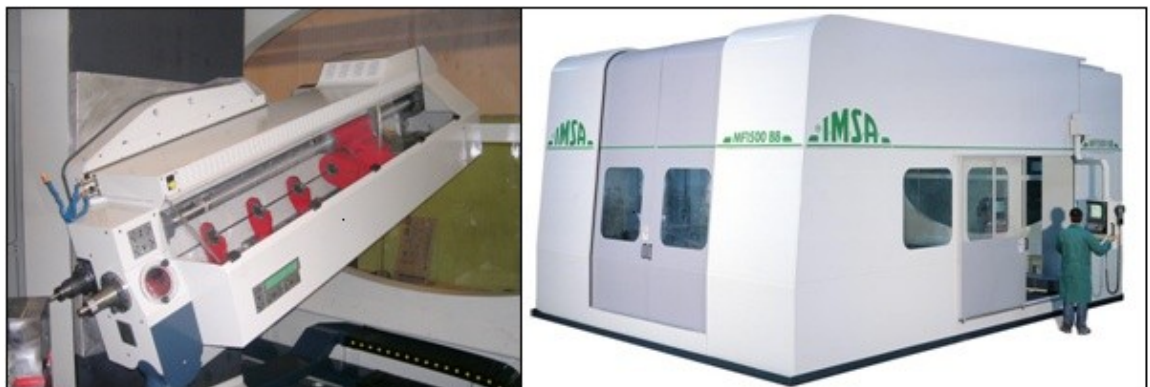
Dělový vrták Botek- typ 110 Ø16 mm (obr. 21) by měl být schopen vrtat do materiálu 1.2312 těmito parametry: řezná rychlost $v_c = 45$ [m/min], otáčky $n = 895$ [min^{-1}], posuv za otáčku $f = 0,06$ [mm] a tedy $v_f = 50$ [mm/min].

Dělový vrták Botek- typ 01 Ø16 mm (obr. 22) by měl být schopen vrtat do materiálu 1.2312 těmito parametry: řezná rychlost $v_c = 65$ [m/min], otáčky $n = 1293$ [min^{-1}], posuv za otáčku $f = 0,06$ [mm] a tedy $v_f = 75$ [mm/min].

Stroj

Výhody vrtacího speciálu I.M.S.A. "MF 2000 BB":

- žádné navrtávání
- vodící a podpěrná pouzdra (odpadá navrtávání a předvrtání pilotního otvoru)
- kontrola maximálního krouticího momentu
- kontrola přetížení
- vysoký tlak chladicího zařízení (až 120 bar)
- chladicí médium je hlubokovrtací olej
- úspora nástrojů oproti stroji WHN 13 CNC
- využití maximálních řezných rychlostí nástrojů
- maximální hloubka vrtání v jedné operaci až 2000 mm



Obr. 26 Vrtací speciál I.M.S.A. "MF 2000 BB" [15]

Tab. 4 Technické parametry stroje I.M.S.A. "MF 2000 BB [15]:

Pojezdy	- osa V	mm	2 000
	- osa X	mm	3 250
	- osa Y	mm	1 500
	- osa W	mm	500
	- osa U	mm	1 000
	- osa Z	mm	500
	- osa B	°	360.000°
Velikost stolu		mm	2 200 x 2 200
Max. zatížení stolu při rotaci		kg	35 000
Rychloposuv		mm/min	8 000
Vřeteno pro hluboké vrtání			
Průměr vrtaného otvoru z plna		mm	5 - 50
Otáčky šneku (nastavitelné)		rpm	1 - 4 200
Výkon motoru vrtacího šneku		kW	15
Vřeteno pro frézování ISO 50			
Rychlost frézovacího šneku - nastavitelná		rpm	2 500
Výkon motoru frézovacího šneku		kW	17
Maximální krouticí moment ve šneku		Nm	680
Kapacita olejové nádrže		l	600 -1 200
Samoregulace tlaku oleje		bar	15 – 120
Samoregulace průtoku oleje		l/min	5 - 150
Velikost a hmotnost stroje			
Šířka x Délka x Výška		mm	5900 x 8.030 x 3.850
Orientační hmotnost stroje		kg	53 000



Obr. 27 Vrtací speciál I.M.S.A. "MF 2000 BB [14]

4 Diskuse experimentů

Pro vrtání otvorů do dvou stejných tvářecích nástrojů byly použity dva typy dělových vrtáků s jinými parametry. Každý otvor budeme vrtat celkem třemi až čtyřmi nástroji. Podle hloubky vrtaného otvoru. První nástroj provede navrtání, druhý vyvrtá pilotní otvor, třetí, případně čtvrtý nástroj vyvrtá otvor do požadované délky. Na konec experimentu porovnáme časy vrtání a ekonomicky zhodnotíme, který vrták je výhodnější.

4.1 Technologický postup

Tab. 5 Technologický postup hlubokého vrtání:

pořadí	popis práce	nástroj
1.	Navrtání - do hloubky 2 mm	obr. 28
2.	Vrtání monolitním vrtákem z SK do hloubky $L = 1-2D$	obr. 29
3.	Vrtání dělovým vrtákem do hloubky max. $L = 40D$	obr. 21 nebo 22
4.	Vrtání dělovým vrtákem do hloubky $L = (40 \text{ až } 80)D$	obr. 21 nebo 22
5.	Vrtání dělovým vrtákem do hloubky $L = (80 \text{ až } 120)D$	obr. 21 nebo 22

Navrtání – použitý nástroj je NC navrtávák (obr. 28). Vrtáme do hloubky 2 mm. Bez chlazení nebo chlazení pouze vzduchem. Je důležité pro prvotní navedení vrtáku. Vrtáky se jinak uhýbají a vznikají nám tak problémy s přesností děr.



Obr. 28 NC navrtávák 120° HSSCo5 DxL 16x115 [6]

Vrtání do hloubky $L = 1-2D$ – použitý nástroj je monolitní vrták z SK s vnitřním chlazením (obr. 29). Tyto vrtáky jsou ideální nástroje na vyvrtání vedení pro dělové vrtáky. A to hlavně díky tomu, že při vysokých řezných rychlostech dosahují běžně i přesnosti IT8.

Proč se musí vrtat vedení pro dělové vrtáky (tzv. „pilotní díra“) nebo použít vrtací pouzdro? Protože dělový vrták je jednobřitý nástroj, takže řezné síly jej okamžitě odtlačují do strany, a proto není schopen se sám zavrtat do materiálu. Z toho důvodu je nutné mu vytvořit na začátku vrtání vedení. Pilotní díra má průměr dělového vrtáku, zvětšený o 0,01 až 0,02 mm, a hloubku jeden až dva násobky průměru.



Obr. 29 Monolitní vrták z SK s vnitřním chlazením [13]

Vrtání až do hloubky $L = 40D$ – pro 1. experiment byl použit dělový vrták s pájenou destičkou z SK (obr. 21). Pro 2. experiment dělový vrták s VBD (obr. 22). Tyto vrtáky jsou chlazeny olejovou mlhou. Mlhové chlazení (obr. 24).

Vrtání dělovým vrtákem do hloubky $L = (40 \text{ až } 80)D$ a následně vrtání do hloubky $L = (80 \text{ až } 120)D$ – Byly použity stejné typy nástrojů jako u vrtání do hloubky $L = 40D$, ale o jiných délkách. Stroj, na kterém byly vrtány hluboké díry, nemá vodící ani podpěrná pouzdra. Proto nelze vrtat díru kontinuálně, až do hloubky např. $100D$, ale musí se vrtat postupně několika dělovými vrtáky. Délkové rozdíly těchto vrtáků musí být maximálně $40D$. Pokud by se tato hodnota překročila, nástroj by začal vibrovat. Což by vedlo ke snížení jeho trvanlivosti a ke zhoršení povrchu obráběné díry.

Dělové vrtáky bez vodícího a podpěrného pouzdra se NESMÍ roztočit mimo pilotní díru.

4.2 Vrtání dělovým vrtákem typ 110

Pro vrtání otvorů do tvářecího nástroje při použití dělového vrtáku typ 110 byly zvoleny následující parametry:

Tab. 6 Parametry vrtání:

	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]	v_f [mm/min]	p [bar]	typ chlazení
NC navrtávák	30	600	50	-	-
monolitní vrták z SK	50	1000	250	6	emulze
dělový vrták typ 110	30	600	20	6	olejová mlha

Tab. 7 Časy vrtání:

vrtání do hloubky	$L = 2\text{mm}$	$L = 20\text{mm}$	$L = 540\text{mm}$	$L = 580\text{mm}$	$L = 690\text{mm}$	$L = 1015\text{mm}$
z 1. strany (otvory 9 a 10)	0:00:26	0:00:40	0:52:49		0:12:06	
z 2. strany (otvory 27 a 28)	0:00:26	0:00:40	0:52:49		0:12:06	
z 3. strany (otvory 2-7)	0:01:21	0:02:03	2:37:01			
otvory 1 a 8				0:56:37		
ze 4. strany (otvory 14-16 a 21-23)	0:02:34	0:04:01	2:37:01			
otvory 11 a 26				0:56:37		
otvory 12, 13, 17-20, 24 a 25				3:46:09		2:56:12
celkový čas jednotlivých operací	0:04:47	0:07:24	6:59:40	5:39:23	0:24:12	2:56:12

Výsledný celkový čas vrtání 16 h 11 min 38 s

Výpočet ceny za vrtání:

Hodinová sazba stroje WHN 13 CNC je $N_1 = 760$ Kč/h

$$N_{c1} = t_{c1} \cdot N_1 = 16,194 \cdot 760 = 12\,307 \text{ Kč} \quad (27)$$

t_{c1} - celkový čas vrtání – dělový vrták typ 110 [h]

N_1 – hodinová sazba stroje WHN 13 CNC [Kč/h]

Výpočet ceny opotřebovaných vrtáků:

Dělový vrták s pájenou břitovou destičkou se po otupení přebroušuje. Podle informací od spol. Rieter Automotive CZ s.r.o. lze tyto vrtáky přebrousit průměrně 10krát a trvanlivost po přebroušení je 10 m.

Celková délka vyvrtaných otvorů 1 dělovým vrtákem:

$$l_1 = x_1 \cdot l_b = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m} \quad (28)$$

x_1 – maximální počet přebroušení [-]

l_b – trvanlivost břitu do přebroušení [m]

Náklady na vrtáky na vyvrtání vzorku:

$$N_{v1} = \frac{l_c}{l_1} \cdot N_2 = \frac{19,28}{100} \cdot 2000 = 386 \text{ Kč} \quad (29)$$

N_2 – průměrná cena dělového vrtáku – typ 110

4.3 Vrtání dělovým vrtákem typ 01

Pro vrtání otvorů do tvářecího nástroje při použití dělového vrtáku typ 01 byly zvoleny následující parametry:

Tab. 8 Parametry vrtání:

	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]	v_f [mm/min]	p [bar]	typ chlazení
NC navrtávák	30	600	50	-	-
monolitní vrták z SK	50	1000	250	6	emulze
dělový vrták typ 01	40	800	30	6	olejová mlha

Tab. 9 Časy vrtání:

vrtání do hloubky	L = 2mm	L = 20mm	L = 540mm	L = 580mm	L = 690mm	L = 1015mm
z 1. strany (otvory 9 a 10)	0:00:26	0:00:40	0:34:59		0:10:16	
z 2. strany (otvory 27 a 28)	0:00:26	0:00:40	0:34:59		0:10:16	
z 3. strany (otvory 2-7)	0:01:21	0:02:03	1:46:11			
otvory 1 a 8				0:37:39		
ze 4. strany (otvory 14-16 a 21-23)	0:02:34	0:04:01	1:46:11			
otvory 11 a 26				0:37:39		
otvory 12, 13, 17-20, 24 a 25				2:31:19		1:58:25
celkový čas jednotlivých operací	0:04:47	0:07:24	4:42:20	3:46:37	0:20:32	1:58:25

Výsledný celkový čas vrtání 11 h 5 s

Výpočet ceny za vrtání:

Hodinová sazba stroje WHN 13 CNC je $N_1 = 760$ Kč/h

$$N_{c2} = t_{c2} \cdot N_1 = 11 \cdot 760 = 8\,360 \text{ Kč} \quad (30)$$

t_{c2} - celkový čas vrtání – dělový vrták typ 01 [h]

N_1 – hodinová sazba stroje WHN 13 CNC [Kč/h]

Výpočet ceny spotřebovaných destiček:

U dělových vrtáků s výměnnou břitovou destičkou měníme pouze řeznou destičku. Trvanlivost destičky je $l_2 = 50$ m a cena destičky $N_2 = 426$ Kč.

Náklady na destičky na vyvrtání vzorku:

$$N_{v2} = \frac{l_c}{l_2} \cdot N_2 = \frac{19,28}{50} \cdot 426 = 164 \text{ Kč} \quad (31)$$

N_2 – cena řezné destičky

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Po dokončení výrobní části a po přepočítání potřebných výpočtů jsem došel k následujícímu zhodnocení experimentu.

K vrtání 28 otvorů o celkové délce 19 280 mm jsem nejprve zvolil dělový vrták s pájeným břitem z SK – typ 110 od firmy Botek. S tímto vrtákem jsme byli schopni vrtat posuvem $v_f = 20$ mm/min. Při použití dělového vrtáku s pájeným břitem jsme dosáhli času 16 h 11 min 38 s. Což by po vynásobení hodinovou sazbou stroje odpovídalo ceně 12 307 Kč.

Na druhý vzorek jsem použil dělový vrták s výměnnou břitovou destičkou – typ 01 od firmy Botek. Tento vrták nám dovolil použít vyšší parametry vrtání a hlavně posuv $v_f = 30$ mm/min. Dosáhli jsme tak kratších časů a to 11 h 5 s. Což by po vynásobení hodinovou sazbou stroje odpovídalo ceně 8 360 Kč.

Tab. 10 Porovnání vrtáků:

	dělový vrták - typ 110	dělový vrták - typ 01
opotřebení destiček (vrtáků) [Kč]	386	164
cena za vrtání [Kč]	12 307	8 360

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že cena vrtání jednoho vzorku při použití dělového vrtáku s VBD od firmy Botek – typ 01 je o 3 947 Kč nižší v porovnání s cenou při použití dělového vrtáku s pájenou břitovou destičkou od firmy Botek – typ 110.

Dělový vrták s výměnnou břitovou destičkou – typ 01 vyšel z testu lépe než dělový vrták s pájeným břitem z SK – typ 110 a to jak z hlediska produktivity, tak i z hlediska trvanlivosti. Jedinou jeho nevýhodou jsou počáteční náklady, které jsou u dělového vrtáku s výměnnou břitovou destičkou asi 9krát vyšší než u dělového vrtáku s pájeným břitem z SK.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce na téma Zproduktivnění hlubokého vrtání bylo porovnání dvou typů dělových vrtáků při vrtání chladících otvorů do tvářecího nástroje a to z hlediska výrobních časů a s tím souvisejících výrobních cen.

V úvodní části této bakalářské práce je popsána obecná charakteristika daného problému. Dále je zde představena společnost Rieter Automotive CZ s.r.o., která mi umožnila dané experimenty realizovat. Další část bakalářské práce byla věnována popisu technologie vrtání. Bylo zde uvedeno základní rozdělení nástrojů na otvory, jejich princip a použití.

Praktická část práce byla zaměřena na porovnání dvou typů dělových vrtáků od firmy Botek na vzorku tvářecího nástroje. A to dělový vrták s pájenou břitovou destičkou – typ 110 a dělový vrták s VBD – typ 01. Vrtání bylo realizováno na horizontální frézce TOS WHN 13 CNC. Dále je zde popsán postup při vrtání hlubokých otvorů na stroji TOS.

V pátém oddílu je technicko-ekonomické zhodnocení práce, ve kterém byly porovnány výsledné časy a ceny za vrtání dělovými vrtáky.

Bylo zjištěno, že při použití dělových vrtáků s VBD dosáhneme kratších výrobních časů a tedy i nižších výrobních cen. Tyto vrtáky se společností Rieter Automotive CZ s.r.o. z dlouhodobého hlediska vyplatí i přes jejich vyšší počáteční náklady, a to z toho důvodu, že jejich životnost je relativně neomezená.

7 Seznam použité literatury:

- [1] *Directory of American Tool And Machinery Patents* [online]. [cit. 2011-02-3]. Improvement in Drill-Bits. Dostupné z WWW: <<http://www.datamp.org/patents/displayPatent.php?pn=38119&id=18675>>.
- [2] KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2005. 270s. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] ŘASA, J. a GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – 1. díl*. 1. vyd. Praha: Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s r.o., 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [4] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [5] ČEP, R. *Technologie II - 2. díl: Podklady ke studiu pro předmět Technologie obrábění* 142 s. [cit. 18. 4. 2011] Dostupné na World Wide Web: <http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf>.
- [6] *MT nástroje* [online]. 2011 [cit. 2011-04-21]. Vrtáky středící. Dostupné z WWW: <<http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/24-1-Vrtaky-a-navrtavaky/547-3-NC-navrtavaky-120-HSSCo5/5/11382-NC-navrtavak-120-HSSCo5-DxL-16x115>>.
- [7] ZEMČÍK, O. *Nástroje a přípravy pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
- [8] DILLINGER, J. a kol. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. U Slavie 4,100 00 Praha 10 : Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [9] *Botek, USA, Inc* [online]. 2011 [cit. 2011-04-11]. Botekusa. Dostupné z WWW: <<http://www.botekusa.com/#>>.
- [10] *Waagerecht-Bohr-und-Fräswerk*. TOS Wansdorf. Příručka ke stroji WHN 13 CNC. 1988, 1, s. 11.
- [11] *JKZ BUČOVICE a.s.* [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Nástrojová ocel 1.2312. Dostupné z WWW: <<http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojova-ocel-12312>>.

- [12] *WINTER servis* [online]. 2011 [cit. 2011-04-18]. JEDNOBŘITÉ DĚLOVÉ VRTÁKY. Dostupné z WWW: <http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_delove>.
- [13] *GUEHRING* [online]. 2011 [cit. 2011-04-20]. GUEHRING Navigator v 3.1. Dostupné z WWW: <http://navigator.guehring.de/navigator/index.php?mod=boh&act=boh_6>.
- [14] *IMSA* [online]. 2011 [cit. 2011-04-13]. Centra pro hluboké vrtání a frézování. Dostupné z WWW: <<http://www.imsaitaly.com/stampi-e-blocchi.php?modello=MF1500BB-MF2000BB>>.
- [15] *Colder Products Company* [online]. 2011 [cit. 2011-03-10]. Diepgatboormachine. Dostupné z WWW: <<http://www.products4engineers.nl/resources/upload/ebKJwH-IMSA-MF1500BB.pdf>>.

8 Seznam příloh

	Počet listů
Příloha A – modely vzorku tvářecího nástroje – horní část.....	2
Příloha B – modely vzorku tvářecího nástroje – spodní část.....	1
Příloha C – informace o stroji I.M.S.A. “MF 2000 BB” [15].....	3

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat zástupci vedoucího výroby ve společnosti Rieter Automotive CZ s.r.o panu Luboši Chejnovskému za poskytnutí podkladů a za cenné rady při řešení daného experimentu.

Další poděkování bych chtěl věnovat vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc za odborné vedení a cenné rady při její tvorbě.

